



DEUTSCHES

PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 40 18 379.3

22 Anmeldetag: 8. 6. 90

43 Offenlegungstag: 12. 12. 91

DE 40 18 379 A 1

71 Anmelder:

Casdorff, Rainer, Dr., 2000 Hamburg, DE

74 Vertreter:

Niedmers, O., Dipl.-Phys.; Schöning, H., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 2000 Hamburg

72 Erfinder:

gleich Anmelder

54 Verfahren und Anordnung zur Ermittlung der tatsächlichen optischen Weglänge von Licht in einem Lichtleiter

57 Es wird ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Ermittlung der tatsächlichen optischen Weglänge von Licht in einem Lichtleiter vorbestimmter Länge vorgeschlagen. Dabei wird monochromatisches Licht entsprechend einem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$  amplitudenmoduliert und mit vorbestimmter mittlerer Amplitude in den Lichtleiter angekoppelt. Das im Lichtleiter reflektierte Licht entsprechend einem Photodiodensignal mittlerer Amplitude  $U_d$  wird mit dem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$  gemischt. Das sich daraus ergebende Meßsignal  $U(\Phi)$  ist eine Funktion der Phasendifferenz  $\Phi$  zwischen dem Modulationssignal  $U_m$  und dem Photodiodensignal  $U_d$ . Die Phasendifferenz  $\Phi$  ist annähernd proportional zur optischen Weglänge im Lichtleiter.

DE 40 18 379 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur kontinuierlichen Ermittlung der tatsächlichen optischen Weglänge von Licht in einem Lichtleiter vorbestimmter Länge sowie eine Anordnung zur Ausführung dieses Verfahrens.

5 In vielen Bereichen der technisch- industriellen Fertigung werden kräftemäßig hochbelastete Strukturen in zunehmendem Maße anstatt aus bisher verwendetem Metall oder Metallegierungen aus Verbundwerkstoffen eingestellt, die als Vorteil gegenüber der bisherigen Werkstoffwahl einer erhebliche Gewichtsverminderung bei wenigstens gleicher, wenn nicht gar größerer Festigkeit aufweisen. Verbundwerkstoffe dieser Art werden beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt, beispielsweise bei Tragflächen-, sowie Höhen- und Seiten-

10 leitwerken von Flugzeugen. Bei extremer Belastung dieser Verbundwerkstoffe in den voran beschriebenen Anwendungsgebieten kann es durch systembedingte Überlast aber auch durch äußere Einflüsse, beispielsweise durch das Auftreffen von Gegenständen wie Steinen und dgl. auf die aus Verbundwerkstoff hergestellte Struktur dazu kommen, daß der Verbundwerkstoff bis zum Bruch beschädigt wird, ohne daß die Bruchstellen von außen sichtbar sind und ohne daß herkömmliche radiografische Methoden bei diesen Verbundwerkstoffen den Bruch

15 erkennen.

Es sind zur Erkennung dieses Mangels in derartigen aus Verbundwerkstoff bestehenden Strukturen Lichtleiterfasern integriert worden, wobei mittels aufwendiger digital-elektronischer Methoden die Laufzeit von digitalen optischen Signalen im Lichtleiter ermittelt und aus der Laufzeit die effektive Länge des Lichtleiters, die sich bei einem Lichtleiterbruch entsprechend einer Beschädigung des Verbundwerkstoffs verkürzt, berechnet wurde.

20 Diese bekannte Methode erwies sich jedoch aber selbst bei Laboruntersuchungen als apparativ zu aufwendig, ungenau im Ergebnis und nicht übertragbar auf den unmittelbaren Einsatz im Flugzeug, beispielsweise zur kontinuierlichen Überwachung des Verbundwerkstoffes schlechthin.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Anordnung zu schaffen, mit denen auf hochgenaue, kontinuierliche Weise der tatsächliche optische Weg von Licht in einem Lichtleiter vorbestimmter

25 Länge ermittelt werden kann, wobei das Verfahren und die Anordnung leicht durchführbar bzw. einfach realisierbar sein sollen, so daß sie sich unmittelbar zum Einsatz am Ort des Verbundwerkstoffes eignen.

Gelöst wird die Aufgabe gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren durch folgende Verfahrensschritte:

- 30 a) monochromatisches Licht wird entsprechend einem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$  amplitudenmoduliert und mit vorbestimmter mittlerer Amplitude in den Lichtleiter eingekoppelt,
- b) das im Lichtleiter reflektierte Licht entsprechend einem Photodiodensignal  $U_d$  mittlerer Amplitude wird mit dem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$  gemischt,
- c) das sich daraus ergebende Meßsignal  $U(\Phi)$  ist eine Funktion der Phasendifferenz  $\Phi$  zwischen dem Modulationssignal  $U_m$  und dem Photodiodensignal  $U_d$ ,
- 35 d) wobei die Phasendifferenz  $\Phi$  annähernd proportional zur optischen Weglänge im Lichtleiter ist.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt im wesentlichen darin, daß die Verfahrensführung lediglich durch geeignete Ermittlung der Phasenbeziehungen zwischen dem in den Lichtleiter eingekoppelten und am Ende des Lichtleiters, der eine Bruchstelle darstellen kann, reflektierten Licht und der Phase des

40 Modulationssignals, mit dem die Lichtquelle amplitudenmoduliert wird, bestimmbar ist. Die verhältnismäßig einfache Verfahrensführung läßt es zudem zu, daß der dazu erforderliche apparative Aufwand verhältnismäßig gering ist, so daß beispielsweise Strukturen in Flugzeugen, Raumfähren und dgl., bei denen dieses Verfahren angewendet wird, kontinuierlich überwacht werden können.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird das sinusförmige Modulationssignal  $U_m$  um einen Phasenwinkel  $\phi$  vor der Mischung mit dem Photodiodensignal verschoben, da das verfahrensgemäß

45 gewonnene Meßsignal um die mittels der Phasenverschiebung einstellbare 0-Phase herum näherungsweise proportional zur Phasendifferenz  $\Phi$  und damit proportional zur optischen Weglänge des Lichtleiters ist.

Um unkontrollierte Phasenverschiebungen zu vermeiden, wie sie in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz in der Lichtquelle auftreten können, kann ein Anteil des amplitudenmodulierten Lichts vor Einkopplung in

50 den Lichtleiter in ein zweites Photodiodensignal  $U'_d$  entsprechend dem Modulationssignal umgewandelt und mit dem ersten Photodiodensignal  $U_d$  gemischt werden, d. h. in diesem Fall ist das zweite Photodiodensignal  $U'_d$  das Referenzsignal entsprechend  $U_m$ .

Wegen der Abhängigkeit des Ausgangssignals  $U(\Phi)$  von der mittleren Intensität des Lichtfeldes kann vorteilhafterweise Ausgangssignal  $U(\Phi)$  durch das mittlere Photodiodensignal  $\bar{U}_d$  durch analoge Division

55 dividiert werden, so daß diese Abhängigkeit auf für das endgültige Ausgangssignal nicht mehr relevante Weise unterdrückt wird.

Der zeitabhängige Teil des Ausgangs- bzw. Meßsignals wird vor der Division, wie sie vorangehend aufgeführt wurde, vorteilhafterweise durch Filterung unterdrückt, so daß sich eine einfache Phasenbeziehung zwischen dem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$  und dem Photodiodensignal  $U_d$  ergibt.

60 Die erfindungsgemäße Anordnung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt werden kann, umfaßt eine Lichtquelle sowie eine optische Einrichtung zum Einkoppeln des von der Lichtquelle erzeugten monochromatischen Lichts in den Lichtleiter.

Zur Lösung der obigen Aufgabe ist ein Oszillator mit der Lichtquelle verbunden, der auf diese ein sinusförmiges Modulationssignal  $U_m$  liefert, das amplitudenmoduliertes Licht nach seiner Reflexion am Lichtleiterende

65 über die als Strahlteiler ausgebildete optische Einrichtung auf eine Photodiode und von dort als Photodiodensignal  $U_d$  auf eine Mischeinrichtung zusammen mit dem Modulationssignal  $U_m$  geleitet wird, wobei das am Ausgang liegende Ausgangssignal  $U(\Phi)$  der Mischeinrichtung proportional zur optischen Weglänge im Lichtleiter ist.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung zeigt sich in einem verhältnismäßig einfachen und damit kostengünstig realisierbaren Aufbau, wobei für die einzelnen Teile wie Oszillator, Lichtquelle, Lichtleiter, Mischer und dgl. elektro-optische Standardbauteile verwendet werden können, die kostengünstig bereitstellbar sind. Da alle diese Teile auch verhältnismäßig leicht sind, ist es ohne weiteres möglich, eine Vielzahl derartiger Anordnungen jeweils zur Überwachung eines Lichtleiters in dem zu überwachenden Verbundwerkstoff bzw. der daraus hergestellten Struktur unterzubringen. Es ist darüber hinaus auch möglich, alle vorgenannten Einzelteile oder Teile davon monolithisch nach Art eines dafür konzipierten integrierten Bausteins herzustellen. Gerade wegen der in vielen Anwendungsbereichen extremen Temperaturstabilitätsforderung mit voller Funktion in einem Temperaturbereich von  $-50^{\circ}$  bis  $+100^{\circ}\text{C}$  eignet sich die Herstellung der Anordnung in Form eines monolithischen Bausteins besonders.

Um sicherzustellen, daß das Ausgangssignal bzw. Meßsignal in einem Phasenbereich von  $\pm \pi/4$  um die 0-Phase herum näherungsweise proportional zur Phasendifferenz  $\Phi$  und damit proportional zur optischen Weglänge der Lichtleiterfaser ist, wird das Modulationssignal  $U_m$  vor Eintritt in die Mischeinrichtung über eine Phasenschiebereinrichtung geleitet und geeignet eingestellt. Ein Anteil des amplitudenmodulierten Lichts wird vorteilhafterweise über den Strahlteiler ausgekoppelt und über eine zweite Photodiode geführt, wobei dieses als Referenzsignal  $U_d$  der Mischeinrichtung zugeführt wird.

Um zu einer einfacher auswertbaren Beziehung des die Mischeinrichtung verlassenden Ausgangs bzw. Meßsignals  $U(\Phi)$  zu kommen, wird das Ausgangssignal der Mischeinrichtung über ein Tiefpaßfilter geführt und anschließend vorteilhafterweise durch das von der Photodiode kommende Photodiodensignal  $U_d$  in einer analogen Divisionseinrichtung dividiert, d. h. der zeitabhängige Teil des die Mischeinrichtung verlassenden Ausgangs bzw. Meßsignals kann durch die Verwendung des Tiefpaßfilters unterdrückt werden, während die Abhängigkeit des verbleibenden Signals von der mittleren Intensität des Lichtes durch anschließende analoge Division durch das Photodiodensignal  $U_d$  unterdrückt werden kann.

Grundsätzlich kann eine beliebige geeignete Mischeinrichtung vorgesehen werden, es hat sich jedoch als vorteilhaft herausgestellt, die Mischeinrichtung durch einen Ringmischer zu bilden.

Bei einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Anordnung wird das Ausgangssignal  $U(\Phi)$  und das Modulationssignal  $U_m$  vorbestimmter Frequenz auf eine Rechneinrichtung gegeben, wobei der Oszillator als spannungsgesteuerter Oszillator ausgebildet ist und die Modulationsfrequenz, ausgehend von einem vorbestimmten Minimalwert, von Meßschritt zu Meßschritt erhöht wird. Bei rechnergesteuerter Verstimmung der Modulationsfrequenz zu höheren Frequenzen hin ergibt sich eine hohe Auflösung der effektiv ermittelten Lichtleiterlänge entsprechend der Frequenz, bei der die Phasendifferenz zwischen dem Modulationssignal  $U_m$  und dem Photodiodensignal  $U_d$  zu Null geht.

Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die nachfolgenden schematischen Zeichnungen anhand mehrerer Ausführungsbeispiele eingehend beschrieben. Darin zeigen:

Fig. 1 den grundsätzlichen Aufbau einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 eine gegenüber der Darstellung von Fig. 1 geringfügig modifizierte Anordnung,

Fig. 3 eine Ausführungsform der Anordnung, bei der der Oszillator als spannungsgesteuerter Oszillator von einem Rechner gesteuert wird, und

Fig. 4 eine aufgetragene Beziehung der Phasendifferenz zwischen dem Modulationssignal  $U_m$  und dem Photodiodensignal  $U_d$  gegen die Modulationsfrequenz des Oszillators bei einer beispielhaften Lichtleiterlänge von 10 und 11 m.

Die Anordnung 10 besteht im wesentlichen aus einem Lichtleiter 11, der hier entgegen seiner ursprünglichen Gesamtlänge durch die Unterbrechung symbolisch als gebrochener Lichtleiter 11 dargestellt wird. Demzufolge stellt das Ende des einen Abschnitts des Lichtleiters 11 das Lichtleiterende 16 dar, das als Lichtreflexionsende wirkt. Die Anordnung 10 umfaßt darüber hinaus eine Lichtquelle 12, die monochromatisches Licht, beispielsweise monochromatisches Laserlicht, auf einen optischen Isolator 13 und von dort auf eine als Strahlteiler 17 ausgebildete optische Einrichtung gibt, über die das monochromatische Licht 14 in den Lichtleiter gegeben wird.

Ein Oszillator 15, der mit der Lichtquelle 12 verbunden ist, erzeugt ein sinusförmiges Modulationssignal  $U_m$ , mit dem das in der Lichtquelle 12 erzeugte monochromatische Licht amplitudenmoduliert wird. Bei der in Fig. 1 dargestellten Ausgestaltung der Anordnung 10 wird das sinusförmige Modulationssignal  $U_m$  auf eine Phasenschiebereinrichtung 23 gegeben und von dort auf den Mischereingang 20 einer als Ringmischer ausgebildeten Mischeinrichtung 19. Das am das Bruchende symbolisierenden Lichtleiterende 16 reflektierte Licht gelangt wiederum auf den Strahlteiler 17, von dem es auf eine erste Photodiode 18 gegeben wird und dort als entsprechendes elektrisches Photodiodensignal  $U_d$  auf den zweiten Mischereingang 21. Der Mischerausgang 22, an dem das Meß- bzw. Ausgangssignal zur Herleitung der tatsächlichen optischen Weglänge des Lichts 14 im Lichtleiter 11 austritt, wird über ein Tiefpaßfilter 25 geführt und von dort auf eine Divisionseinrichtung 24, in der das das Tiefpaßfilter 25 verlassende Signal durch das von der ersten Photodiode 18 kommende Photodiodensignal  $U_d$  dividiert wird. Am Ausgang der Divisionseinrichtung 26 liegt dann das endgültige aufbereitete Meßsignal  $U(\Phi)$ , wobei  $\Phi$  die Phasendifferenz zwischen dem ersten Photodiodensignal  $U_d$  und dem Modulationssignal  $U_m$  ist. Die vorangehend beschriebene Anordnung 10 entspricht der in Fig. 1 dargestellten.

Die Anordnung 10 gemäß Fig. 2 unterscheidet sich von der gemäß Fig. 1 dadurch, daß das Modulationssignal  $U_m$  nicht unmittelbar dem Oszillator 15 direkt entnommen wird. Vielmehr wird ein Anteil des amplitudenmodulierten Lichts 14 über den Strahlteiler 17 ausgekoppelt und über eine zweite Photodiode 19 als Referenz- bzw. Modulationssignal  $U_d$  der Mischeinrichtung 19 zugeführt.

Die in Fig. 3 dargestellte Anordnung 10 entspricht dem Grundaufbau der in Fig. 2 dargestellten Anordnung 10, jedoch mit dem Unterschied bzw. der Erweiterung, daß der Oszillator 15, anders als bei der Anordnung gemäß Fig. 1 und 2, ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO = Voltage Controlled Oszillator) ist. Das vom

spannungsgesteuerten Oszillator 15 erzeugte Modulationssignal  $U_m$  wird nicht nur zur Lichtquelle 12 sondern ebenfalls auf eine Rechneinrichtung 27 gegeben. Die Rechneinrichtung 27 selbst liefert eine Spannung, mit der der spannungsgesteuerte Oszillator 15 beaufschlagt wird. In Abhängigkeit der Variation der Spannung, gesteuert von der Rechneinrichtung 27, wird die Frequenz des Modulationssignal  $U_m$  variiert. Der Ausgang der Divisionseinrichtung 26, an dem das endgültige Meß- bzw. Ausgangssignal  $U(\Phi)$  der Anordnung 10 liegt, wird ebenfalls auf die Rechneinrichtung 27 geführt.

Der typische Verfahrensablauf bei den vorangehend beschriebenen Anordnungen 10 wird nachfolgend beschrieben. In der Lichtquelle 12 wird monochromatisches Licht erzeugt, dessen Kohärenzlänge klein gegenüber der Länge des auszumessenden Lichtleiters 11 sein muß, um optische Interferenzen zu vermeiden. Die Lichtquelle 12 wird beispielsweise durch eine Breitband-Laserdiode gebildet. Das von der Lichtquelle 12 erzeugte Licht wird in bezug auf seine Intensität mittels des Modulationssignals  $U_m$  des Oszillators 15 mit einer Modulationsfrequenz  $\Omega_m$  moduliert.

Das in bezug auf seine Intensität somit amplitudenmodulierte Licht 14 wird über den optischen Isolator 13 und über den Strahlteiler 17 in den Lichtleiter 11 eingekoppelt. Das am Lichtleiterende 16 reflektierte Licht wird über den Strahlteiler 17 auf die erste Photodiode 18 gegeben, wobei das Photodiodensignal  $U_d$  im Ringmischer 19 mit dem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$ , nachdem es zuvor über einen Phasenschieber 23 geleitet wurde, gemischt. Das Photodiodensignal  $U_d$  kann evtl. vor Eintritt in den Ringmischer 19 verstärkt werden. Für das Ausgangssignal des Ringmischers 19 ergibt sich dann folgender physikalischer Zusammenhang:

$$U_M = \bar{U}_m \bar{U}_d / 2 \left[ \sin \left( \Omega_m 2t + \Omega \frac{x}{c} + \Phi \right) + \sin \left( -\Omega \frac{x}{c} - \Phi \right) \right],$$

$c$  = Gruppengeschwindigkeit

Das Ausgangssignal des Ringmischers 19, das prinzipiell schon das eigentliche Meßsignal darstellt, wird durch die Nachschaltung des Tiefpaßfilters 25 und die Divisionseinrichtung 26 derart aufbereitet, daß der zeitabhängige Teil der voranstehenden Gleichung und die Abhängigkeit des verbleibenden Signals von der mittleren Intensität des Lichts unterdrückt wird, so daß für das eigentliche Meßsignal  $U(\Phi)$  ergibt:

$$U(\Phi) = \frac{1}{2} \bar{U}_m \sin(\Phi) \propto \sin \left( \frac{2\pi}{\lambda} x - \Phi - \pi/2 \right).$$

$\Phi$  stellt die Phasendifferenz des Modulationssignals  $U_m$  und des Diodensignals  $U_d$  dar.  $\Phi$  ist die durch die Phasenschiebereinrichtung eingestellte Modulationsphase,  $x$  die vom Licht 14 im Lichtleiter 11 zurückgelegte Wegstrecke,  $\lambda$  entspricht der Modulationswellenlänge. Bei dieser Betrachtung wurde der Einfachheit wegen die in der Einkoppeloptik und Nachweisoptik zurückgelegte Wegstrecke nicht berücksichtigt.

Das so gewonnene Meßsignal ist in einem Phasenbereich  $\pm \pi/4$  um die mit der Phasenschiebereinrichtung 23 einstellbare 0-Phase herum näherungsweise proportional zur Phasendifferenz  $\Phi$  und damit proportional zur optischen Weglänge des Lichtleiters 11.

Soll beispielsweise ein Lichtleiter 11 mit einer Länge von 20 m vermessen werden, so ergibt sich eine optische Weglänge von  $x=40$  m und damit eine benötigte maximale Modulationsfrequenz von  $(\lambda > 2 \times f_m = 3.7 \text{ MHz})$  (mit  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ). Bei einer Phasenwinkelauflösung von  $1^\circ$  ergibt sich somit eine Wegstreckenauflösung von 20 cm. Soll bei gleicher Länge des Lichtleiters 11 und gleicher Phasenauflösung die räumliche Auflösung vergrößert werden, so muß ein zweiter Meßvorgang mit der halben Modulationswellenlänge und damit der doppelten Modulationsfrequenz durchgeführt werden. Um unkontrollierte Phasenverschiebungen zu vermeiden, wie sie in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz in der Lichtquelle 12 auftreten können, kann in diesem Fall das als Referenzsignal benötigte Modulationssignal  $U_m$  durch die zweite Photodiode 24, wie sie in Fig. 2 ersichtlich ist, als Referenzsignal  $U'_d$  gewonnen werden.

Der vorangehend beschriebene Verfahrensablauf entspricht bis zu diesem Punkt auch dem gemäß der Anordnung 10 von Fig. 3. Das am Ausgang der Divisionseinrichtung 26 liegende Meß- bzw. Phasendifferenzsignal

$$U(\Phi) \propto \sin \left( \frac{2\pi}{\lambda} x - \Phi \right)$$

wird in die Rechneinrichtung 27 gegeben. Die Ausgangssignale des Oszillators 15 wird ebenfalls in die Rechneinrichtung 27 geleitet. Die momentane Oszillatorfrequenz des Oszillators 15 wird durch einen hier nicht gesondert dargestellten Frequenzzähler hoher Genauigkeit (Genauigkeit  $1 \times 10^8$ ) bestimmt und ebenfalls auf die Rechneinrichtung 27 gegeben.

Für einen Längenmeßvorgang wird die Modulationsfrequenz  $\Omega_m$  auf einen Minimalwert gesetzt und dann schrittweise erhöht. Beim Verstärken der Modulationsfrequenz zu höheren Frequenzen hin erhält man das in Fig. 4 dargestellte Signal. Dort ist die Phasendifferenz zwischen dem Modulationssignal  $U_m$  und dem ersten Photodiodensignal  $U_d$  gegen die Modulationsfrequenz  $\Omega_m$  bei einer Länge des Lichtleiters 11 von 10 m und 11 m aufgetragen. Die Länge des Lichtleiters 11 entsprechend  $x$  ergibt sich aus der Frequenz  $f$ , bei der die Phasendifferenz verschwindet, d. h.  $\Phi = 0$ , zu

$$x = \frac{nc}{2f}$$

n entspricht der Ordnung der Phasendurchgänge, die ebenfalls aus Fig. 4 ersichtlich ist. Die Aufnahme der Meßwerte sowie die Berechnung der optischen Weglänge des Lichts 14 im Lichtleiter 11 erfolgt in der Rechen-  
einrichtung 27 und kann nach jedem Meßzyklus auf geeignete Weise zur Anzeige gebracht werden.

#### Bezugszeichenliste

10 Anordnung	10
11 Lichtleiter	
12 Lichtquelle	
13 optischer Isolator	
14 Licht	15
15 Oszillator	
16 Lichtleiterende	
17 Strahlteiler	
18 erste Photodiode	
19 Mischeinrichtung	20
20 Mischereingang	
21 Mischereingang	
22 Mischerausgang	
23 Phasenschiebereinrichtung	
24 zweite Photodiode	25
25 Tiefpaßfilter	
26 Divisionseinrichtung	
27 Rechneinrichtung	

#### Patentansprüche

- Verfahren zur kontinuierlichen Ermittlung der tatsächlichen Weglänge von Licht in einem Lichtleiter vorbestimmter Länge, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:  
  - monochromatisches Licht wird entsprechend einem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$  amplitudenmoduliert und mit vorbestimmter mittlerer Amplitude in den Lichtleiter angekoppelt,
  - das im Lichtleiter reflektierte Licht entsprechend einem Photodiodensignal mittlerer Amplitude  $\bar{U}_d$  wird mit dem sinusförmigen Modulationssignal  $U_m$  gemischt,
  - das sich daraus ergebende Meßsignal  $U(\Phi)$  ist eine Funktion der Phasendifferenz  $\Phi$  zwischen dem Modulationssignal  $U_m$  und dem Photodiodensignal  $U_d$ ,
  - wobei die Phasendifferenz  $\Phi$  annähernd proportional zur optischen Weglänge im Lichtleiter ist.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das sinusförmige Modulationssignal  $U_m$  um einen Phasenwinkel  $\phi$  vor der Mischung mit dem Photodiodensignal verschoben wird.
- Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anteil des amplitudenmodulierten Lichts vor Einkopplung in den Lichtleiter in ein zweites Photodiodensignal  $U'_d$  entsprechend dem Modulationssignal  $U_m$  umgewandelt und mit dem ersten Photodiodensignal  $U_d$  gemischt wird.
- Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal  $U(\Phi)$  durch das mittlere Photodiodensignal  $\bar{U}_d$  durch analoge Division dividiert wird.
- Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitabhängige Teil des Meßsignals  $U(\phi)$  vor der Division durch Filterung unterdrückt wird.
- Anordnung zur kontinuierlichen Ermittlung der tatsächlichen optischen Weglänge von Licht in einem Lichtleiter vorbestimmter Länge, umfassend eine Lichtquelle sowie eine optische Einrichtung zum Einkoppeln des von der Lichtquelle erzeugten Lichts in den Lichtleiter, dadurch gekennzeichnet, daß ein Oszillator (15), der mit der Lichtquelle (12) verbunden ist, auf diese ein sinusförmiges Modulationssignal  $U_m$  liefert, daß das amplitudenmodulierte Licht (14) nach seiner Reflexion am Lichtleiterende (16) über die als Strahlteiler (17) ausgebildete optische Einrichtung auf eine Photodiode (18) und von dort als Photodiodensignal  $U_d$  auf eine Mischeinrichtung (19) zusammen mit dem Modulationssignal  $U_m$  geleitet wird, wobei das am Ausgang (22) liegende Ausgangssignal  $U(\Phi)$  der Mischeinrichtung (19) proportional zur optischen Weglänge im Lichtleiter (11) ist.
- Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Modulationssignal  $U_m$  vor Eintritt in die Mischeinrichtung (20) über eine Phasenschiebereinrichtung (23) geleitet wird.
- Anordnung nach einem oder beiden der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anteil des amplitudenmodulierten Lichts (14) über den Strahlteiler (17) ausgekoppelt und über eine zweite Photodiode (24) geführt als Modulationssignal  $U'_d$  der Mischeinrichtung (19) zugeführt wird.
- Anordnung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal  $U(\Phi)$  der Mischeinrichtung (19) über einen Tiefpaßfilter (25) geführt wird.
- Anordnung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal  $U(\Phi)$  der Mischeinrichtung (19) durch das von der Photodiode (18) kommende Photodio-

densignal  $U_d$  in einer analogen Divisionseinrichtung (26) dividiert wird.

11. Anordnung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Mischeinrichtung (19) durch einen Ringmischer gebildet wird.

12. Anordnung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal  $U(\Phi)$  und das Modulationssignal  $U_m$  vorbestimmter Frequenz auf eine Rechneinrichtung (27) gegeben werden, wobei der Oszillator (15) als spannungsgesteuerter Oszillator ausgebildet ist und die Modulationsfrequenz, ausgehend von einem vorbestimmten Minimalwert, von Meßschritt zu Meßschritt erhöht wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen







